

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra metalurgie a slévárenství

Možnosti optimalizace skarfování bramových předlitků s vlivem na konečnou kvalitu výrobku

Possibilities of Optimalization of Scarfing of Slab Blanks Affecting the Final Product Quality

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS**

**AUTOR PRÁCE: Tomáš Zborovančík
AUTHOR**

**VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Libor Čamek Ph.D.
SUPERVISOR**

Ostrava

2015

ZBOROVANČÍK, T. Možnosti optimalizace skarfování bramových předlitků s vlivem na konečnou kvalitu výrobku, VŠB-TU Ostrava, FMMI, 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Zborovančík**

Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor: 2109R035 Technologie výroby kovů

Téma: Možnosti optimalizace skarfování bramových předlitků s vlivem
na konečnou kvalitu výrobku
Possibilities of Optimization of Scarfing of Slab Blanks Affecting
the Final Product Quality

Zásady pro vypracování:

1. Teoretické základy výroby oceli na zařízení plynulého odlévání
2. Rozbor literárních poznatků z oblasti strojního skarfování předlitků
3. Rozbor současného stavu technologie skarfování bramových předlitků v ocelárně Vítkovice Steel a.s.
4. Návrh nových možností optimalizace technologie skarfování bramových předlitků v ocelárně Vítkovice Steel a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BÖHM, Z. et al. *Plynulé odlévání oceli*. SNTL Praha, 1992, 443 s., ISBN 80-03-00661-9.
- [2] McPHERSON A. N., McLEAN, A. *Continuous Casting, Volume Seven, Non-Metallic Inclusions in Continuously Cast Steel*, Iron and Steel Society U.S.A. 1995, 311 p., ISBN 1-886362-04-1.
- [3] Články z odborných časopisů fondu Ústřední knihovny, VŠB-TU Ostrava, jako např. *Hutnické listy*, *Iron & Steel Technology*, *ISIJ International*, *Metallurgical and Materials Transaction*, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, *Stahl und Eisen*, *Steel Research International*. Z jiných zdrojů například *Ironmaking & Steelmaking* aj.
- [4] Články z vědeckých publikací získaných pomocí e-zdrojů a odborných databází, jako např. *Springer Link*, *ISI WOK*, *Scopus*, *Web of Science*, *Metal* aj.
- [5] Sborníky z konferencí, jako např. *SteelSim*, *ISSTech*, *METAL* aj.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

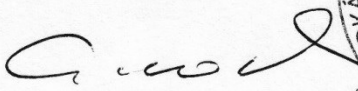
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libor Čamek, Ph.D.**

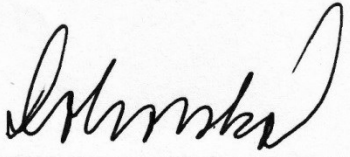
Konzultant bakalářské práce: Ing. Miloš Masarik

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 22.05.2015




prof. Ing. Karel Michalek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

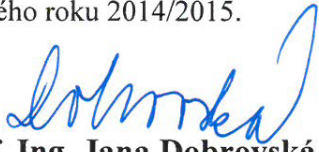
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2014/2015.

Ostrava 4. 11. 2014


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Mistopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě 21. 05. 2015

..........

Podpis (Tomáš Zborovančík)

ABSTRAKT

Práce se zabývá skarfováním bramových předlitků a jejím vlivem na konečnou kvalitu produkce. Na skarfovacím stroji byly doporučené změny s cílem optimalizovat technologický proces skarfování bramových předlitků a snížit množství povrchových vad na konečných plechách. Tohoto cíle bylo dosaženo využitím a doplněním funkce predikčního modelu jakosti.

Klíčová slova

Skarfování bramových předlitků, možnosti optimalizace, povrchové vady odlitků, skarfovací stroj.

ABSTRACT

This thesis deals with the scarfing of slabs and its influence on the final quality of production. Several changes were suggested on a scarfing machine with the aim to optimize technological process and decrease the amount of surface defects of the final sheets. It was fulfilled by introducing of the prediction model and this thesis describes the methods of using this model.

Key words

Scarfing of Slabs, Possibilities of Optimization, surface defects of slabs, scarfing machine.

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Liboru Čamkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Poděkování patří také pracovníkům ocelárny VÍTKOVICE STEEL a.s., kteří mi umožnili přístup k důležitým informacím, zejména děkuji Ing. Milošovi Masarikovi za jeho vstřícnost a obětavost při poskytování informací.

Obsah

Cíle bakalářské práce	2
Úvod	2
1 Výskyt povrchových vad na bramových předlitcích	4
1.1 Faktory ovlivňující povrchové vady	5
1.1.1 Primární zóna chlazení	6
1.1.2 Sekundární zóna chlazení	6
1.1.3 Terciální zóna chlazení	7
1.2 Rozdělení a možnosti odstranění povrchových vad	7
2 Metody skarfování bramových předlitků	13
2.1 Skarfování bramových předlitků za studena	13
2.2 Skarfování bramových předlitků za tepla	13
2.3 Technologie skarfování	14
3 Skarfovací stroj v ocelárně VÍTKOVICE STEEL, a.s.	16
3.1 Konstrukce skarfovacího stroje	17
3.2 Současné způsoby provozu skarfovacího zařízení v provozu ocelárny VÍTKOVICE STEEL, a.s.	18
3.3 Technologie z pohledu rychlosti skarfování	19
3.4 Současné podmínky skarfování vybrané jakosti S 355	21
3.4.1 Predikce kvality bramových předlitků	21
4 Optimalizace skarfování bramových předlitků s vlivem na konečnou kvalitu výrobku	23
4.1 Odchylka licí rychlosti	24
4.2 Zastavení lití	25
4.3 Maximální kolísání hladiny oceli v krystalizátoru	25
4.4 Maximální odchylka oscilace krystalizátoru	27
4.5 Odchylka sekundární zóny chlazení	28
5 Dosažené výsledky a závěr	30
5.1 Dosažené výsledky analýzy vadných bramových předlitků	30
5.2 Závěr	32
6 Seznam použité literatury	34

Cíle bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je ověření možnosti optimalizace technologického procesu skarfování bramových předlitků.

Bakalářská práce shrnuje hodnocení dat povrchových vad BP získaných ze systému řízení výroby spolu s návrhem budoucích opatření pro ocelárny:

- Rozbor dat zaměřený na bramové předlitky obsahujících povrchové vady, vyhodnocení těchto vad a vytvoření optimalizace predikčního systému pro skupinu jakosti oceli S355.
- Návrh parametrů predikčního modelu nastavením limitních mezí vzniku možné vady na bramovém předlitku.

Úvod

ZBOROVANČÍK, T. Možnosti optimalizace skarfování bramových předlitků s vlivem na konečnou kvalitu výrobku, VŠB-TU Ostrava, FMMI, 2015

V současné době je snahou každé ocelárny, zajistit tu nejlepší možnou kvalitu vyrobené oceli a z něj vyrobených produktů. Pro zlepšení kvality výsledných bramových předlitků (BP) na zařízení plynulého odlévání oceli (ZPO) ve společnosti VÍTKOVICE STEEL, a.s. byl zaveden do provozu skarfovací stroj, který slouží pro mechanizované povrchové skarfování BP. Skarfovací stroj byl vestavěn do provozu ocelárny v technologickém toku za ZPO a uveden do provozu v roce 2009 jako náhrada ručního skarfování. Skarfování se využívá v případě predikce výskytu povrchových vad na BP, které mohou vzniknout na zařízení pro plynulé odlévání oceli.

Každá ocelárna se snaží eliminovat vznik povrchových vad. Skarfováním BP na zařízení pro plynulé odlévání dochází ke ztrátě materiálu, který způsobí změnu tloušťky BP.

1 VÝSKYT POVRCHOVÝCH VAD NA BRAMOVÝCH PŘEDLITCÍCH

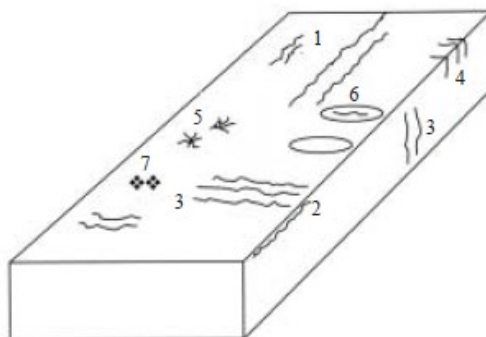
Povrchové vady na BP bezprostředně souvisí s technologickým postupem odlévání oceli na ZPO.

Vznik povrchových vad je tvořen hlavně:

- stavem krystalizátoru,
- lící teplotou,
- lící rychlostí,
- chemickým složením oceli,
- primárním a sekundárním chlazením,
- stavem segmentů [1].

Typické povrchové trhliny, které jsou schematicky znázorněné na **obr. 1.1**, můžeme rozdělit následovně: [1]

- podélné povrchové (1),
- podélné rohové trhliny (2),
- příčné povrchové (3),
- příčné rohové trhliny (4),
- hvězdicovité trhliny (5), /
- podélné a příčné prohloubeniny (6),
- strusková místa (7).



Obr. 1.1 Povrchové trhliny na bramovém kontilití [1]

Největší problémem kvality odlévaného produktu na ZPO jsou povrchové vady, které vznikají dalším zpracováním BP. Vady na povrchu BP se při dalším válcování neodstraní, ale projeví se v dalším technologickém toku jako vady na povrchu plochých výrobků.

Za povrchové vady jsou považované všechny vady, jež bezprostředně souvisí s povrchem BP, tedy i vady, které jsou těsně pod povrchem v hloubce 1 až 2 mm. Tyto podpovrchové vady se při ohřevu BP v narážecích pecích před válcováním a po odstranění okují na povrchu BP otevřou a oxidují.

Povrchové vady se projevují jako necelistvosti typu trhlin nebo se může jednat o porušení spojitosti licí kůry, vzniklé zatlačením nekovového materiálu do povrchu BP, zatečením oceli mezi stěnu krystalizátoru a ztuhlou kůru BP, přerušením lití.

1.1 Faktory ovlivňující povrchové vady

Vznik povrchových vad je ve většině případů situován do oblasti krystalizátoru a těsně pod krystalizátorem v oblasti sekundárního chlazení. V případě povrchových vad je jejich vznik dán špatným nastavením krystalizátoru a souvisejícími technologickými parametry odlévání. Příčiny vzniku povrchových trhlin lze tedy stručně charakterizovat chybnou prací nebo stavem faktorů v primární oblasti chlazení kde patří: konicita krystalizátoru, mechanický stav krystalizátoru, jeho opotřebení nebo borcení, oscilace krystalizátoru, výška hladiny oceli v krystalizátoru, tepelně technická práce krystalizátoru.

Chemické složení oceli hraje v náchylnosti konkrétních značek oceli k tvorbě povrchových trhlin významnou roli.

Sekundární chlazení není prvotní příčinou povrchových trhlin, ale jeho nadměrná intenzita, zvláště v prvních sekcích pod krystalizátorem nebo nerovnoměrnost v příčném i podélném směru však mohou významnou měrou rozvíjet trhliny, které vznikly v primárním chlazení. Stav vodících a rovnacích válců je důležitým faktorem, který může podporovat vznik příčných trhlin, jejichž počátek se nachází v kořenech hlubokých oscilačních vrásek.

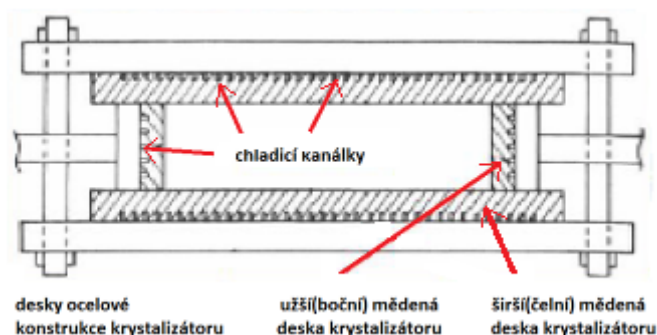
Teplota a rychlost odlévání působí ve shodném směru, a to tak že jejich vyšší hodnoty, než jsou hodnoty optimální pro danou značku oceli, zvyšují náchylnost BP ke vzniku podélných trhlin.

Výroba bezchybného BP je cílem každé ocelárny, ale nelze se zcela vyhnout výskytu různých typů vad. Je to dáno samotnou podstatou tuhnutí a chladnutí BP kde probíhají různé fyzikální děje: segregační jevy, vznik tepelných a mechanických napětí, působení fázových

přeměn při tuhnutí a chladnutí oceli, působení třecích sil v krystalizátoru a existence teplotního gradientu v utuhlé kůře BP [2].

1.1.1 Primární zóna chlazení

Krystalizátor zobrazen na **obr. 1.2** je důležitou součástí ZPO tím, že zajišťuje vznik pevnější kůry oceli, ve středu předlitku, kde se nachází tekuté jádro. Právě proto se klade důraz na silu vnější kůry předlitku, která musí být dostatečně silná, aby působením ferostatického tlaku a mechanického napětí nedošlo k deformacím po výstupu z krystalizátoru. Z veškerého tepla, které vzniká v předlitku, odvádí krystalizátor 20 až 45 procent. Rovnoměrnost odvodu tepla ovlivňuje teplotní napětí v krystalizátoru a v BP [3].



Obr. 1.2 Brámový krystalizátor [3]

Z hlediska způsobu sdílení tepla mezi kovem a krystalizátorem je možné krystalizátor rozdělit na tři zóny:

- I. Horní část – úzká vrstva licí kůry, kde dochází k nejintenzivnějšímu odvádění tepla a je tady přímý styk tekutého kovu se stěnou krystalizátoru
- II. Prostřední část – větší tloušťka licí kůry, ocel zde intenzívně proudí a vytváří se již nestabilní vzduchová mezera
- III. Spodní oblast - silná tloušťka licí kůry, která odolává ferostatickému tlaku na ni působící a vytváří se zde stabilní plynová mezera – tím se sníží až pět krát odvod tepla [3].

1.1.2 Sekundární zóna chlazení

Sekundární zóna BP je velmi důležitá, protože ovlivňuje kvalitu předlitku z hlediska vnitřních a povrchových vad i středové segregace. Vznikající předlitek v krystalizátoru je charakteristický postupnou tvorbou povrchové kůry a tekutým jádrem. Po opuštění krystalizátorů je předlitek vystavený vlivům ferostatického tlaku, tažné, ohýbací a gravitační

síle. Tyto jevy vyvolají mechanická napětí a deformace, které jsou příčinou vzniku trhlin. Sekundární chlazení by mělo splňovat tyto podmínky:

- rovnoměrnost chlazení,
- intenzitu chlazení,
- krátkou dobu kontaktu neodpařené vody s předlitkem,
- regulovatelnost intenzity ostříku [4].

1.1.3 Terciální zóna chlazení

Terciální zóna chlazení je konec technického a technologického celku ZPO. Jejímí základními technologickými jednotkami jsou tažný systém s vodící dráhou, u radiálního ZPO rovnací stolice a dále pak dělicí zařízení. Lze zde také zahrnout odsuvné zařízení včetně chladicího systému. Teplo obsažené v předlitku je tedy odváděno do okolního vzduchu převážně sáláním a v menší míře přirozenou konvekcí, dále pak vedením do vodících, tažných, rovnacích válců a chladicího lože [4].

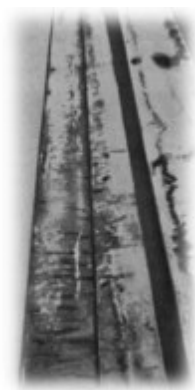
1.2 Rozdělení a možnosti odstranění povrchových vad

Povrchové vady jsou rozděleny do jednotlivých skupin podle jejich charakteru a umístění v průřezu BP a jejich vznik je popsán následujícím způsobem dle konkrétního rozdělení.

Podélné povrchové trhliny

Podélné trhliny vznikají v době, kdy povrch předlitku již ztratil styk s krystalizátorem, avšak pevnost vnější kůry předlitku je menší než napětí ve ztuhlé vnější kůře. Výskyt podélných trhlin převládá mezi vnějšími vadami především při odlévání nízkouhlíkových ukladných ocelí bramového tvaru. Podélné trhliny vznikají z metalurgického důvodu, kdy jejich vzniku napomáhá zvýšená teplota a nadměrně vysoká rychlost lití. Značný vliv na výskyt těchto trhlin má správná dezoxidace oceli [5].

Trhliny na ploše BP ve směru podélné osy zobrazené na **obr. 1.3** jsou ve středové oblasti, poblíž hran nebo roztroušeně kdy dosahují délku až několika metrů.

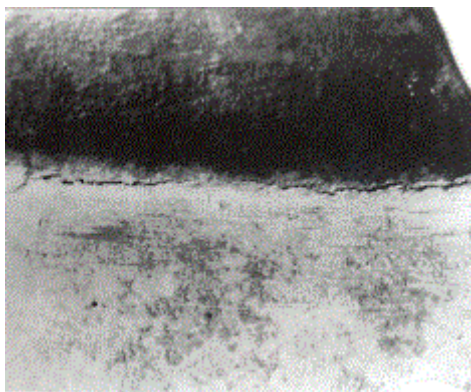


Obr. 1.3 Podélné trhliny na předlících v blízkosti středu [5]

Vadu lze odstranit vybroušením nebo opalováním plamenem do určité hloubky, která se podle značky oceli a požadované jakosti finálního výrobku pohybuje v rozmezí 5 až 10 % jmenovité tloušťky BP. BP s hlubšími trhlínami musí být zmetkován.

Podélné rohové trhliny

Jsou to trhliny v oblasti rohů BP, uložené ve směru podélné osy odlévání. Vyskytují se na vrcholu hran, v kraji, zaoblení nebo zkosení rohů nebo jejich bezprostřední blízkosti. Na **obr. 1.4** jsou trhliny, které mohou být nejrůznější velikosti, od krátkých jemných až po trhliny široce rozevřené, dlouhé i několik metrů.

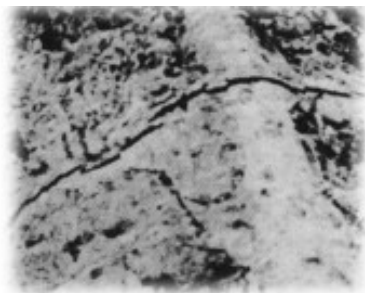


Obr. 1.4 Podélná trhlina na hranách bramovém předlitku [5]

Příčné povrchové trhliny

Vznikají zejména při nesouladu mezi rychlostí lití a teplotou stěn krystalizátoru. Na tvorbu těchto trhlín má vliv kromě vlastního procesu lití i celkový obsah uhlíku a síry v oceli. Pro příčné trhliny má značný vliv příliš malý licí radius u strojů s horizontálním výběhem

předlitků, který může vést k tvorbě trhlin při rovnání BP. Výskyt těchto trhlin podporují různé povrchové vady předlitků, oscilační vrásky, závaly a struskové vměstky, které se vytvořily již v krystalizátoru. Rovněž nadměrné znečištění oceli škodlivými příměsemi, jako jsou cín a síra mohou vyvolávat výskyt trhlin na povrchu předlitku při jeho rovnání. Ukázka příčných trhlin je uvedena na **obr. 1.5** a **obr. 1.6**.



Obr. 1.5 Příčná trhlina na hraně předlitku [5]

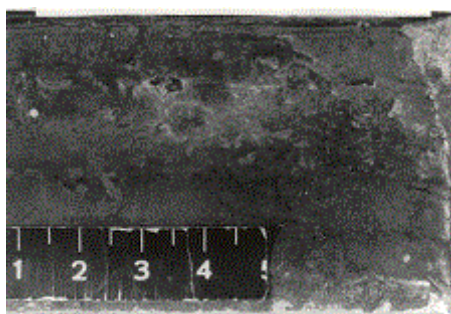


Obr. 1.6 Příčná čelní trhlina u čtvercového předlitku [5]

Vadu lze odstranit broušením nebo opalováním do určité hloubky výskytu. Při odlévání BP mohou být trhliny značným problémem, neboť v drobné míře jsou na litém povrchu těžce vizuálně zjistitelné. V případě jejich vysokého výskytu je k jejich odstranění zapotřebí skarfing celého povrchu BP. Pokud nejsou přímo na BP zjištěny tyto příčné povrchové vady, mohou se vysknout ve formě šup na válcovaném plechu [2].

Příčné trhliny rohové

Trhliny na rozích a hranách BP zobrazené na **obr. 1.7**, uložené příčně ke směru lití, mohou být průvodním jevem hlubokých oscilačních vrásek a jejich hloubka může být až 50 mm.

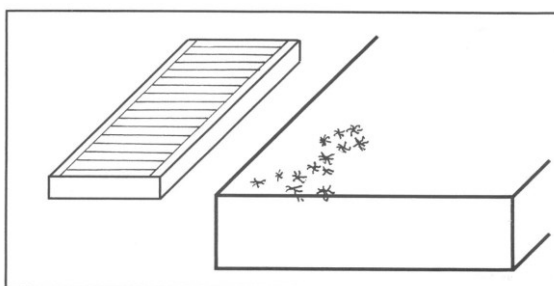


Obr. 1.7 Příčná trhlina rohová na bramovém předlitku [2]

Vadu lze do jisté hloubky jejího výskytu odstranit vybroušením nebo opalováním plamenem. V případě, že tyto trhliny v mírné formě výskytu, nebyly na BP zjištěny, znamená jejich výskyt na proválcovaném BP zvýšený odstřih jeho okrajů.

Hvězdicovité trhliny

Hvězdicovité trhliny jsou vlasové trhlinky, které vytvářející jemné síťoví na povrchu nebo těsně pod povrchem BP. Tyto trhliny mají hvězdicovitý či pavoukovitý tvar, který je zobrazen na **obr. 1.8**, vycházející z jednoho bodu. Mohou se vyskytovat roztroušeně na široké straně BP, obvykle se však vyskytují v podélném pásu ve středu BP nebo v pásech poblíž okrajů BP. Hvězdicovité trhliny zasahují většinou do hloubky menší než 2 mm, ve výrazných případech mohou být hluboké až 3 - 4 mm. Jejich šířka je velmi malá a délka je obvykle několik milimetrů, v některých případech může délka dosahovat až několika desítek milimetrů [2].



Obr. 1.8 Hvězdicovitá trhlina na bramovém předlitku [2]

Odstranění hvězdicovitých trhlín v případě, že byly na BP zjištěny, lze provést broušením, nebo opalováním, a to buď místně, většinou však v celých pásech jejich výskytu. Větší problém je však vůbec zjištění jejich výskytu. Tyto vlasové trhlinky nejsou viditelné na povrchu BP a bývají odhaleny až při kontrolním zápalu, které se provádí namátkově na expediční lince. Po zápalu se hvězdicovité trhliny objeví až při zchladnutí povrchu.

Podélné prohloubeniny

Podélné prohloubeniny jsou lokální vborcení na povrchu široké strany BP, nejčastěji se vyskytující v blízkosti hran jak je vidět na **obr. 1.9**. Podélné prohloubeniny jsou obvykle doprovázeny podélnými povrchovými nebo podpovrchovými trhlinami.



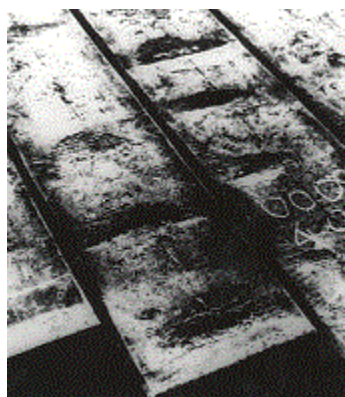
Obr. 1.9 Podélné prohloubeniny na bramovém předlitku [2]

Podélné lokální vborcení nelze odstranit. V mírné formě nepůsobí vada podélných prohloubenin potíže při dalším zpracování BP. V silnějším stupni však bývá lokální vborcení doprovázeno povrchovými nebo podpovrchovými podélnými trhlinami, které po vyválnování BP vedou k vážným chybám na plechách.

Úspěšnost vybroušení nebo vypálení povrchových trhlin je dána jejich hloubkou, ale i v případě, že jejich hloubka je malá, několik milimetrů, je možnost jejich odstranění velmi omezená, protože znamená další prohloubení již existujícího vborcení [2].

Příčné prohloubeniny

Příčné prohloubeniny jsou v místě, jehož podélná osa je v příčném směru odlévání. Příčné prohloubeniny se mohou objevit na úzké straně, nejčastěji se však vyskytuje na široké a horní straně BP zobrazené na **obr. 1.10**. Tato vada se často víceméně pravidelně opakuje, ale může se také vyskytovat jednotlivě a nepravidelně. Její největší hloubka je v místě její největší šířky.



Obr. 1.10 Příčné prohloubeniny na bramovém předlitku [2]

Příčné prohloubeniny nelze odstranit. V případě, že její hloubka není velká a ve dně vborcení se nevyskytují příčné trhliny, je vborcení eliminováno při dalším válcování a není příčinou defektů na plechách.

Strusková místa

Jsou to nepravidelné ohraničené útvary nekovových částic, vtlačených do povrchu BP, které jsou zobrazené na **obr. 1.11**. Velikost těchto útvarů se může pohybovat od několika do desítek milimetrů. Mohou se vyskytovat kdekoli po obvodu BP a jejich výskyt je zpravidla nepravidelný [1].



Obr. 1.11 Strusková místa na bramovém předlitku [1]

Odstranění měkkých struskových míst lze provést čištěním BP. Hrubší porušení souvislosti povrchu je nutno provádět broušením nebo skarfováním. Válcování nečištěného BP má za následek snížení povrchové kvality plechu a případně jeho vyřazení [1].

2 METODY SKARFOVÁNÍ BRAMOVÝCH PŘEDLITKŮ

Skarfování horního povrchu BP je jednou z možností jak předejít následným vadám v dalším technologickém toku na válcovnách. Nikdy nedosáhneme stoprocentní bezvadní BP. Při výrobě na ZPO se počítá s 15% chybovostí výrobku. Když chceme snížit počet povrchových vad v lité oceli mněli bychom použít ve výrobě skarfovací stroj [6].

2.1 Skarfování bramových předlitků za studena

Skarfování bramových předlitků za studena odstraňuje povrchové vady z BP při teplotě okolí. Teplota se pohybuje v rozmezí od 20°C do 800°C. Obvykle studený skarfing odstraňuje 1,5mm až 5mm z kovu z horního povrchu BP v jednom průchodu. Skarfování probíhá při rychlosti v rozmezí od 8 až 10m za minutu. Nevýhody skarfování BP za studena v porovnání ze skarfováním za tepla jsou hlavně při procesu nahřívání BP hořáky skarfovacího stroje, kdy dochází k nepřesnému úběru z povrchu BP. U procesu skarfování za studena je vysoká neefektivita procesu, zapříčiněna zvýšenou tvorbou okují, kdy povrch BP není hladký. Na **obr. 2.1** jsou zobrazeny jednotlivé dráhy hořáku skarfovacího stroje, které vytváří zvlněný povrch [6], [7].



Obr. 2.1 Bramový předlitkek skarfováný za studena

2.2 Skarfování bramových předlitků za tepla

Skarfovací stroj odstraňuje povrchové chyby z BP hlavně při zvýšené teplotě. Používá se termín „mechanické horké skarfování“. Proces skarfování probíhá při teplotě kolem 800°C když ocelový BP vychází z lící komory ZPO. Mechanické horké skarfování je neocenitelným

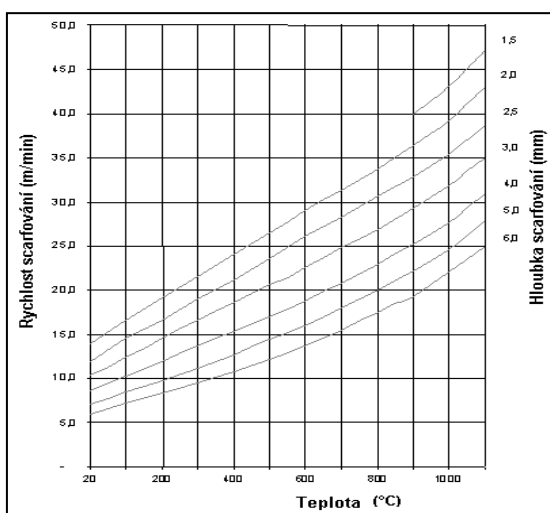
nástrojem pro ocelový průmysl tím, že významně snižuje anebo odstraňuje potřebu manuálního sekundárního ošetření. Horké skarfování odebírá 1,5 až 5mm kovu po jednom přejedení [6].

Horké skarfování je prováděno při rychlosti 15 až 30 metrů za minutu. Hladký, čistý povrch vytvořený na povrchu oceli je zobrazen na **obr. 2.2**. Skarfování BP je ve výborné kvalitě, ekonomicky a rychle. Teoreticky můžou být odstraněny všechny typy povrchových chyb, včetně těch, které nejsou viditelné volným okem [6].



Obr. 2.2 Pohled na skarfování povrchu brambového předlitku [1]

Hloubka úběru skarfovacího stroje závisí na rychlosti skarfování a také na teplotě. Závislost rychlosti skarfování na teplotě a hloubce úběru je zobrazena na **obr. 2.3**.

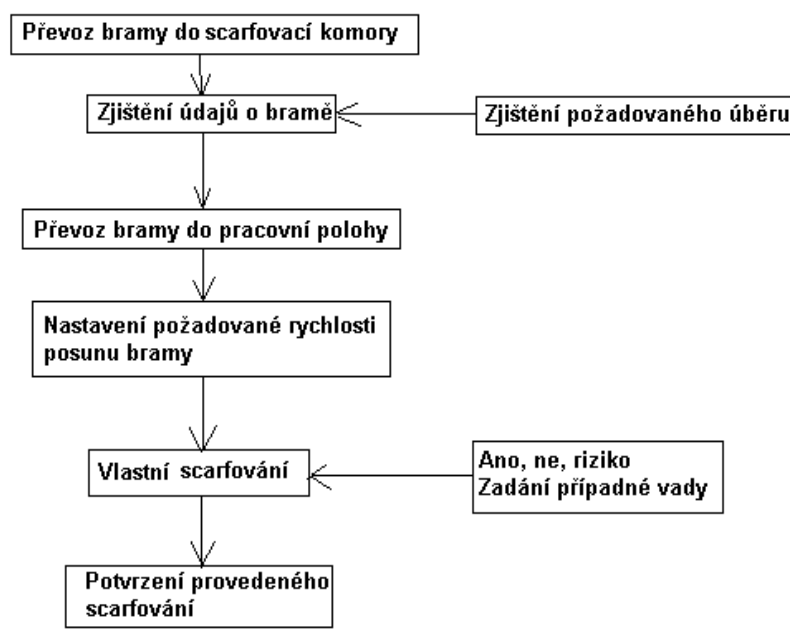


Obr. 2.3 Příklad grafického znázornění hloubky úběru na teplotě, rychlosti a jakosti oceli [8]

2.3 Technologie skarfování

Cílem technologie skarfování je snaha eliminovat povrchové vady, protože jakýkoliv vyřazený plech navyšuje výrobní náklady. Je rozdíl, jestli máme povrchové vady na plechách tloušťky 8mm, nebo 50mm. U tlustých plechů je tato ztráta mnohem vyšší. V případě, že má

oceláren široký záběr jakosti a tloušťek plechů je nutno nastavit pravidla pro snížení vad. Pokud při plechách s tloušťkou nad 30 mm u dané lité jakosti budou vznikat vady i když jsme předtím provedli opatření, je nutné provést oskarfování horního povrchu, které probíhá následně podle **obr. 2.4**. Tato metoda skarfováním BP sice zvyšuje náklady na odlitou tunu oceli, ale následně válcovaný plech bude bez povrchových vad. [1].



Obr. 2.4 Schéma standardní technologie[8]

3 SKARFOVACÍ STROJ V OCELÁRNE VÍTKOVICE STEEL, A.S.

Vzhledem k různorodosti jakostních skupin a stavu licího stroje na bramovém ZPO se měnilo i množství povrchových vad na BP. K odstranění povrchových vad bylo v prostorách ocelárny VÍTKOVICE STEEL, a.s. zavedeno strojní, plně automatizované skarfování v roce 2009 a tím nyní nahrazuje jeho ruční verzi. Na **obr. 3.1** a **obr. 3.2** jsou uvedeny pro názorné porovnání případy strojně a ručně skarfované BP. Skarfovací zařízení mechanicky odstraňuje předepsanou povrchovou vrstvu kovu a tím eliminuje výskyt povrchových vad.

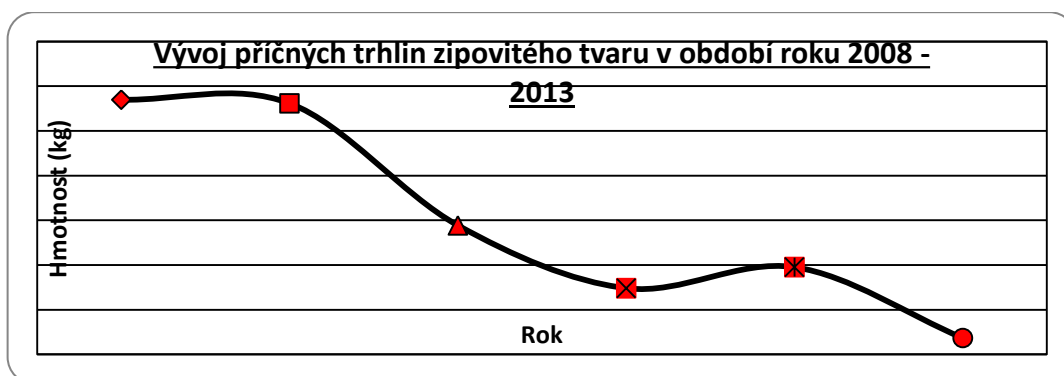


Obr. 3.1 Strojně skarfovaný povrch
bramového předlitku



Obr. 3.2 Ručně skarfovaný povrch
bramového předlitku

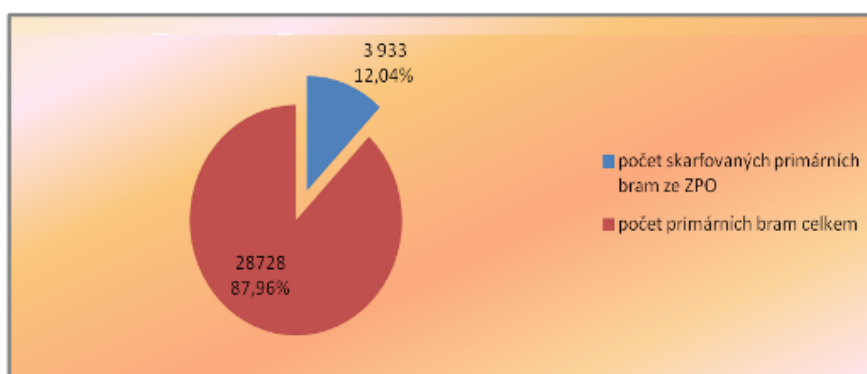
Zavedení strojního skarfování nastal zlom při sledování a hodnocení povrchových vad na BP snížením tohoto množství. Snížení množství povrchových vad zipovitého charakteru v období 2008 - 2013 zobrazuje **obr. 3.3** [10].



Obr. 3.3 Vývoj povrchových vad v období let 2008 - 2013

Využití strojního skarfování pomohlo na válcovně výrazně snížit množství plechů s výskytem ocelářenských povrchových vad a snížit zmetkovitost, která zvláště v období globální ekonomické krize patří mezi nejsledovanější ekonomické ukazatele.

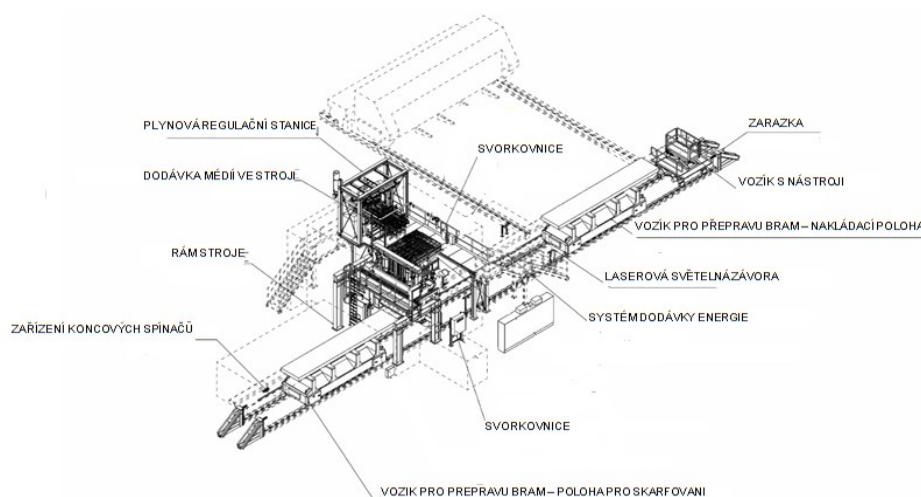
Na úseku provozu ocelárny se za rok 2014 celkově vyrobilo 32 661 BP, co představuje hmotnost 486 645 tun. Na skarfovací stroj bylo odesláno 3 933 BP co se rovná 70 730 tunám odlité oceli. Toto množství představuje 12,04% BP u kterých bylo provedeno skarfování a 14,5 % celkově vyrobené oceli ve společnosti VÍTKOVICE STEEL, a.s. Na **obr 3.4** je uveden graf přehledu skarfováných BP za rok 2014. Celková hmotnost okují z těchto skarfováných BP byla 822 tun, tedy 0,16% z celkové hmotnosti vyrobené oceli.



Obr. 3.4 Přehled bramových předlitků skarfováných v roce 2014

3.1 Konstrukce skarfovacího stroje

Zařízení skarfovacího stroje se dělí na několik konstrukčních celků, které jsou popsány na **obr. 3.5**.



Obr. 3.5 Celkový pohled na skarfovací stroj [9]

Skarfovací systém

Zabezpečuje všechny činnosti, které jsou nevyhnutné k mechanickému odstranění předepsané povrchové vrstvy kovu danými zařízeními. Samotný skarfovací stroj se nachází na posuvné konzole, která je umístěná příčně na pojezdu BP. Je složený ze skarfovacího horáka se základovou deskou, která se skládá z několika trysek [8].

Plynová stanice

Patří sem všechny potrubní armatury, rozvodné systémy a spojky, které jsou potřebné pro podporu zařízení a regulují tok médií: zemní plyn, kyslík, dusík a chladicí vodu.

Pojezd BP manipulační vozík a vodní hospodářství

Pojezd systému zabezpečuje přesun skarfovacího vozu pod skarfovací systém a pojezd manipulačního vozu pro údržbu. Vodní hospodářství zajišťuje dostatek tlakové vody pro odsun následně vytvořených okují [8].

3.2 Současné způsoby provozu skarfovacího zařízení v provozu ocelárny VÍTKOVICE STEEL, a.s.

Ve společnosti VÍTKOVICE STEEL a.s., se vyrábí téměř 250 jakosti oceli, a proto je obtížné určit obecně pro všechny typy jakostí konkrétní podmínky skarfování. Podmínky pro skarfování se určují z mnoha faktorů, které se sledují při každé vyráběné jakosti oceli. Pro testování možností optimalizace skarfování BP byla stanovena konkrétní jakost oceli značky S 355.

Jakost S 355 se řídí dle normy ČSN EN 10025-2 viz **tab. 3.1**. Norma je předmětem upřesnění technických dodacích podmínek na ploché výrobky, které jsou určené na další upracování na ploché a dlouhé výrobky, válcované za tepla z jakostních ocelí vyráběných podle značek oceli a jakostních stupňů. Některé vymezené hodnoty mechanických vlastností jsou uvedeny v **tab. 3.2**.

Tab. 3.1 Jakost S 355 a její technické dodací podmínky

Označení		Způsob desoxidace	C v % max. pro výrobek jmenovité tloušťky v mm			Si % max.	Mn % max.	P % max.	S % max.	N % max.	Cu % max.
Podle EN 100027-1 a CR 10260	Podle 100027 - 2		<16	>16 <40	>40						
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,6	0,035	0,035	0,012	0,55
S355J2	1,0553	FN	0,20	0,20	0,22	0,55	1,6	0,035	0,030	0,012	0,55
S355JR	1,0577	FF	0,20	0,20	0,22	0,55	1,6	0,035	0,025	-	0,55
S355K2	1,0596	FF	0,20	0,20	0,22	0,55	1,6	0,035	0,025	-	0,55

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti jakosti oceli S 355J2 [11]

Mechanické vlastnosti	mez kluzu ReH [MPa]	mez pevnosti Rm [MPa]
S 355 J2	max. 345	470 - 630

3.3 Technologie z pohledu rychlosti skarfování

Sortiment ocelí BP pro skarfování je rozdělen do 3 skupin podle obsahu C v oceli. Doporučená rychlost skarfování oceli do obsahu C 0,16% je uvedena v **tab. 3.3**. V **tab. 3.4** jsou doporučené rychlosti skarfování BP, pro ocel s obsahem C od 0,16% - 0,30%. V **tab. 3.5** jsou doporučené rychlosti skarfování BP ocelí uhlíkových a legovaných.

Tab. 3.3: Doporučené rychlosti skarfování pro oceli typu 11378 a typ X (produktovody),
tj., do obsahu C max. 0,16% [8]

Teplota BP [°C]	Rychlost skarfování [m.min ⁻¹]				
	úběr 2,0mm	úběr 3,0mm	úběr 4,0mm	úběr 5,0mm	Úběr 6,0mm
20	13,9	10,1	7,9	7,5	6,3
200	18,4	13,9	11,4	9,4	7,9
400	23,5	18,2	15,2	11,9	10,2
600*	28,5	22,5	19,1	15,2	13,1
800**	33,5	26,7	22,9	19,4	16,9

* BP tloušťky 250mm** BP tloušťky 145mm nebo 180 mm

Tab. 3.4: Doporučené rychlosti skarfování pro oceli typu 11523 s obsahem C 0,16% - 0,30%
včetně mikrolegovaných [8]

Teplota BP [°C]	Rychlost skarfování [m.min ⁻¹]				
	úběr 2,0mm	úběr 3,0mm	úběr 4,0mm	úběr 5,0mm	úběr 6,0mm
20	12,4	9,0	7,0	6,7	5,6
200	16,4	12,4	10,1	8,3	7,0
400	20,8	16,2	13,5	10,6	9,1
600*	25,3	19,9	16,9	13,5	11,7
800**	29,8	23,7	20,4	17,2	15,0

* BP tloušťky 250mm** BP tloušťky 145mm nebo 180 mm

Tab. 3.5: Doporučené rychlosti skarfování pro oceli uhlíkové a legované [8]

Teplota BP [°C]	Rychlost skarfování [m.min ⁻¹]				
	úběr 2,0mm	úběr 3,0mm	úběr 4,0mm	úběr 5,0mm	úběr 6,0mm
20	10,8	7,8	6,1	5,8	4,9
200	14,3	10,8	8,8	7,3	6,1
400	18,2	14,1	11,8	9,3	7,9
600*	22,1	17,4	14,8	11,8	10,2
800**	26,0	20,7	17,8	15,1	13,1

* BP tloušťky 250mm** BP tloušťky 145mm nebo 180 mm

3.4 Současné podmínky skarfování vybrané jakosti S 355.

Při současném stavu skarfování jakosti S355 se skarfuje BP v závislosti na válcované tloušťce plechu a jsou skarfovány vždy, když je BP vyráběn pro následný válcovaný plech nad daný limit uvedený v **tab. 3.6**. Za rok 2014 se hranice skarfované tloušťky BP pro následné válcování plechu vícekrát měnila. Z důvodu hledání optimální hranice skarfování BP.

Tab. 3.6 Skarfování podle tloušťky plechu

Měsíc	
Leden	skarfováno vše nad 29,9 mm
Únor	skarfováno vše nad 29,9 mm
Březen	skarfováno vše nad 49,9 mm
Duben	skarfováno vše nad 49,9 mm
Květen	skarfováno vše nad 49,9 mm
Červen	skarfováno vše nad 49,9 mm
Červenec	skarfováno vše nad 49,9 mm
Srpen	skarfováno vše nad 79,9 mm
Září	skarfováno vše nad 79,9 mm
Říjen	skarfováno vše nad 79,9 mm
Listopad	skarfováno vše nad 84,9 mm
Prosinec	skarfováno vše nad 84,9 mm

3.4.1 Predikce kvality bramových předlitků

Systémy predikce kvality hutních výrobků jsou poměrně dobře známy. Ve sledované oblasti hovoříme o predikci BP a z ní pak dále predikované kvalitě konečných hutních výrobků. Systémy jsou uplatňovány především na bramových ZPO.

Software systému predikce je nastaven dle algoritmů přiřazení okamžité hodnoty konkrétního parametru délkovému úseku předlitku, výpočtu stupně kvality pro celý dělený předlitek z těchto dílčích délkových úseků a stanovení stupně kvality dle kvantitativní míry porušení zadaných mezí. Provozovatelé ZPO již musí tyto meze postupně nastavovat dle konkrétních podmínek lití BP na ZPO. Společnosti, které BP vyrábějí a dodávají, uvádějí, že zprovoznění systému predikce předlitků je nezbytně nutné provést pro každé ZPO individuálně [12]. Nastavení systému predikce si vyžaduje určení mezí technologických parametrů, při jejichž nedodržení vzniká vada a výběr vad, vznikajících překročením predikovaného technologického parametru. Začlenění systému predikce do provozu ocelárny

je záležitostí časově zdlouhavou a v případě vypracování predikce zahraničním dodavatelem i velmi nákladnou operací [13].

V ocelárně ve VÍTKOVICE STEEL, a.s. se využívá systém predikce vad, příklad této predikce vad je zobrazen na **obr. 3.6**. Při překročení nastavených mezí pracovníci provádějí kontrolu BP, nebo přerazují tyto BP na jiné zakázky. Překroční nastavených limitů je vyznačeno žlutým podbarvením. Kontrola BP spočívá rovněž ve vizuální kontrole samotného povrchu nebo po kontrolním zápalu na BP na expediční lince.

Tavba 11819 Pr. brama 1									
Měřená veličina	Min.	Max.	Mezní hodn.	Měřená veličina	Min.	Max.	Mezní hodn.		
1 Prop. AL pánev/MP %	0,00	0,00		21 Oscilace krystal. %	2,11	6,32	>	6	
2 Prop. AL mezipán. %	0,00	0,00		22 Průt./tl. ostř. v. 1 %	19,48	20,32	>	40	
3 Rych. liti S/tepl. %	-0,97	0,24	+	23 Průt./tl. ostř. v. 2 %	61,33	61,33	>	50	
4 Rychl. liti dle tep. %	-0,97	0,24	+	24 Průt./tl. ostř. v. 3 %	23,89	24,42	>	65	
5 Min. rych. liti mm/min	60	60	<	25 Průt./tl. ostř. v. 4 %	16,93	16,93	>	40	
6 Max. rych. liti mm/min	-60	-50	>	26 Průt./tl. ostř. v. 5 %	13,61	21,18	>	34	
7 Zrychl. liti mm/min ²	100	200	>	27 Průt./tl. ostř. v. 6 %	26,05	26,05	>	55	
8 Přerušeni liti sec			>	28 Průt./tl. ostř. v. 7 %	10,15	10,65	>	45	
9 Hlad. oceli v MP kg	14179	14859	<	29 Průt./tl. ostř. v. 8 %	15,03	18,22	>	35	
10 Vir. efekt v MP 1/min	0,16	0,17	>	30 Průt./tl. ostř. v. 9 %	1,99	8,12	>	60	
11 Pálení pán. /MP (1=R)	0	0	=	31 Průt./tl. ostř. v. 10 %	4,83	7,11	>	60	
12 Hloub. ponoř. výl. mm	0	0	>	32 Průt./tl. ostř. v. 11 %	13,51	19,69	>	55	
13 Hlad. krystaliz. mm	1	3	>	33 Průt./tl. ostř. v. 12 %	10,92	10,92	>	50	
14 Lici prášek (1=R)	0	0	=	34 Průt./tl. ostř. v. 13 %	15,23	16,26	>	75	
15 Řbnor. hl. krys. (1=R)	0	0		35 Tl. pl. výl. pán. /MP %	85,39	86,15	>	90	
16 Manip. na hl. (1=R)	0	0	=	36 Průt. pl. výl. pán./MP %	85,33	85,33	>	90	
17 Max. dif. tep. -úzká °C	5,7	6	>	37 Tl. pl. výl. MP/kr. %	86,92	86,92		98	
18 Min. dif. tep. -úzká °C	4,6	4,9	<	38 Průt. pl. výl. MP/kr. %			>	98	
19 Max. dif. tep. -šir. °C	5,6	5,8	>	39 Signál ML-tektor %	0,00	0,00	>	50	
20 Min. dif. tep. -šir. °C	4,8	5	<	40 Tep. povr. kontisl. °C	896	916	H<	850	

Obr. 3.6 Systém predikce vad [14]

Každý systém predikce vad je různý a liší se ve své technické realizaci, stupni dokonalosti, formě výstupů a míře faktické použitelnosti. Technickou realizací zavedení predikčního systému je myšleno nastavení počtu a typu sledovaných technologických parametrů a rozložení BP technologického směru v ocelárně. Hlavní principy a myšlení systému predikce vad jsou téměř obdobné a dají se obecně formulovat na základě získaných poznatků o technologických parametrech odlévání ocele. Kvalita odlitého BP je obvykle udaná v kódu nebo stupni, následně je uvolněná dispozice pro možnosti další manipulace s tímto předlitkem [15].

4 OPTIMALIZACE SKARFOVÁNÍ BRAMOVÝCH PŘEDLITKŮ S VLIVEM NA KONEČNOU KVALITU VÝROBKU

Pro optimalizaci skarfování BP bylo potřebné udělat detailní rozbor metalurgických parametrů jednotlivých odlitých BP a technologie lícího stroje. Pro následné vyhodnocení bylo vybráno 98 ks BP, které nebyly skarfované a u kterých byly nalezeny povrchové vady na plechách. Hodnocení bylo provedeno pro následující sledované parametry dle **tab. 4.1**. V systému predikce vad na ZPO jsou nastaveny následující aktuální meze, které jsou zobrazeny v **tab. 4.1**. Z predikčního systému zahrnujícího 40 sledovaných parametrů jsou vybrány do základní masky tyto parametry zobrazené v **tab. 4.1**.

Tab. 4.1 Parametry pro jakost S 355

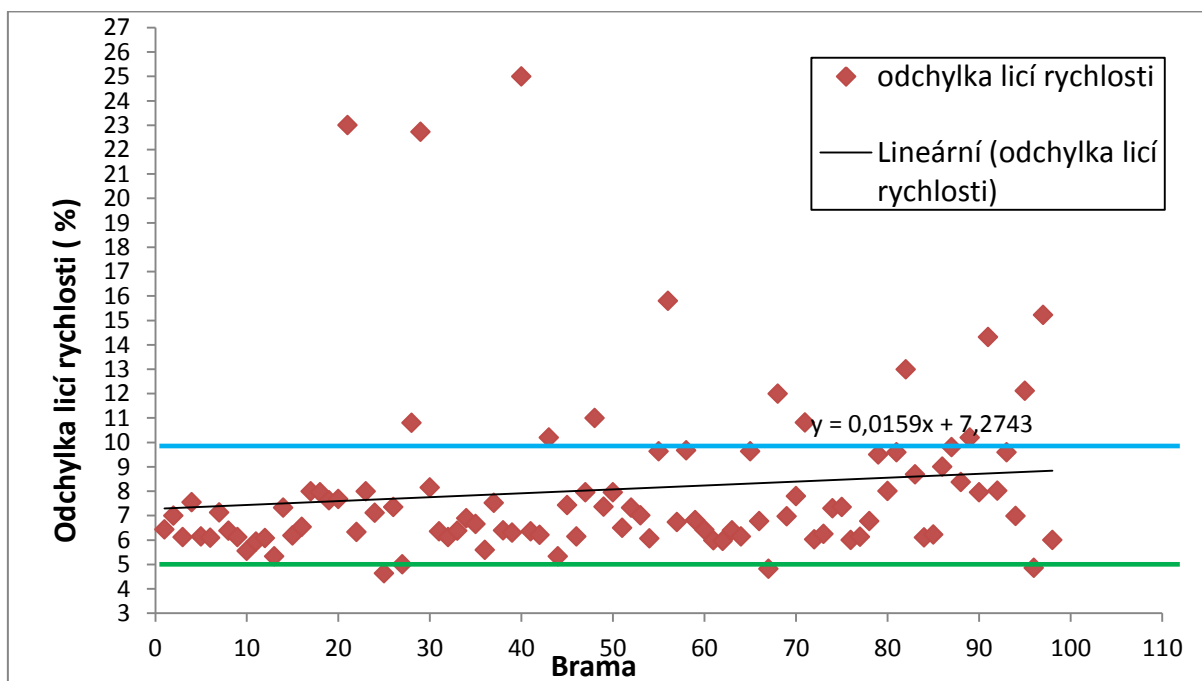
Parametr	Limitní mez možné vady
Odchylka lící rychlosti	< 10 %
Zastavení lití	< 30 s
Max. kolísání hladiny krystalizátoru	± 10 mm
Max. odchylka oscilace krystalizátoru	< 6 %
Chladicí okruh č. 1	< 40 %
Chladicí okruh č. 2	< 50 %
Chladicí okruh č. 3	< 65 %
Chladicí okruh č. 4	< 40 %
Chladicí okruh č. 5	< 34 %
Chladicí okruh č. 6	< 55 %
Chladicí okruh č. 7	< 45 %
Chladicí okruh č. 8	< 35 %
Chladicí okruh č. 9	< 60 %
Chladicí okruh č. 10	< 60 %
Chladicí okruh č. 11	< 55 %
Chladicí okruh č. 12	< 50 %
Chladicí okruh č. 13	< 75 %

4.1 Odchylka licí rychlosti

Rychlost lití je jeden z hlavních technologických parametrů, který v značné míře ovlivňuje výslednou kvalitu oceli, a proto je nezbytně nutné odchylku licí rychlosti neustále sledovat.

Pro BP tloušťky 250 mm, jakosti S355 je považovaná optimální rychlost lití 0,7 - 0,85 m/min. Při překročení nebo nedosažení této licí rychlosti dochází k výrazným vadám. **Při vysoké rychlosti lití** dochází k vyborcení široké strany, vyborcení úzké strany, středovým trhlinám, lunkrům, středové porezitě, středové segregaci a vydutí BP za licí komorou ZPO [14]. **Při nízké rychlosti lití** dochází k podélnému vborcení a příčnému vborcení [14]. Ke změně od optimální licí rychlosti dochází hlavně z důvodu nedochlazení oceli na požadovanou výstupní teplotu na předchozím agregátu sekundární metalurgií. Ocel pak není schopná rychleji chladnout a tím se musí upravovat licí rychlost na ZPO, aby výsledná teplota BP nebyla příliš nízká nebo naopak příliš vysoká.

Na základě znalostí závislosti parametrů tepelných procesů na parametrech lití je možné stanovit, které vady na bramě může způsobit daný parametr odlévání na ZPO. Při výběru 98 ks BP ze systému řízení výroby na ocelárně (FLS), které měly povrchové vady, bylo provedeno hodnocení, které je zobrazeno na **obr. 4.1**. Z tohoto hodnocení vyplývá, že mnohé z vad byly způsobeny nedodržením hodnot licí rychlosti. Odchylka licí rychlosti vykazuje nižší hodnoty než hodnoty, které jsou v predikčním systému ZPO pro skarfování BP. U tohoto nastavení licí rychlosti v predikčním systému je určená maximální odchylka licí rychlosti 10 %, která je v **obr. 4.1** zobrazená modrou barvou a doporučená hodnota zelenou barvou.



Obr. 4.1 Lineární závislost odchylky licí rychlosti

Z analýzy získaných dat je možno doporučit, provést úpravu v predikčním systému snížením nastavené maximální odchylky licí rychlosti z 10%.

4.2 Zastavení lití

Pokud musí být kvůli poruše krátkodobě přerušeno lití tavby, je třeba vzít v úvahu, že v klidovém stavu se začínají široké strany povrchu BP v krystalizátoru bortit vlivem přechlazení vytvořené kůry BP. Rovnoměrným mícháním hladiny oceli je tomuto vborcení zabráněno. Pokud by se vytvořila mezera mezi slítkem a stěnou krystalizátoru, není už dále možné zahájit opětovné lití, neboť by ocel zatekla mezi krystalizátor a povrch BP. Následkem vytvořené mezery by nastal průval. Povolená doba prostoje závisí na zkušenosti odlévače a pohybuje se maximálně 2 minuty. Po této době je potřebné zastavit lití. To je však doba, která je už kritická vzhledem k tomu, že BP v celé délce licího oblouku je přechlazen a nebylo by možno BP vytáhnout. BP by se musel vytahovat po částech z licího oblouku ZPO. Na BP, který je v době prostoje uvnitř zařízení, vznikají vady už po 30 sekundách a to z důvodu vysoké intenzity chlazení které je v zařízení.

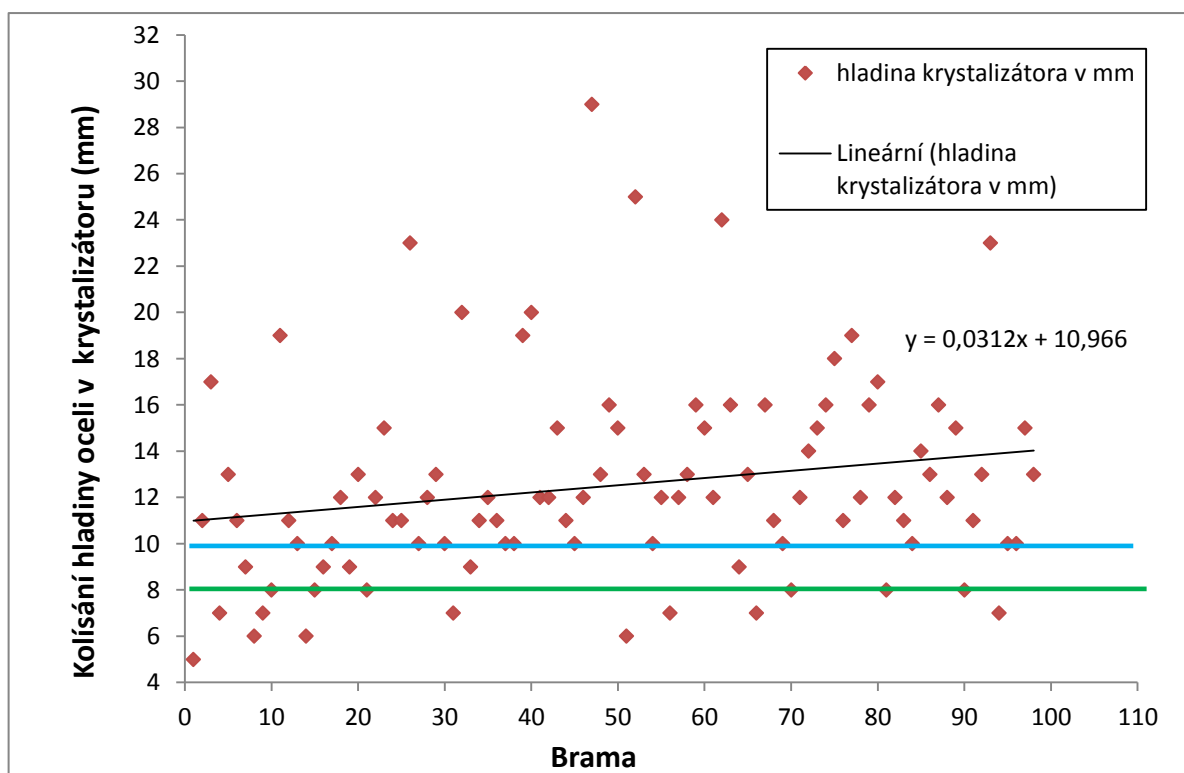
4.3 Maximální kolísání hladiny oceli v krystalizátoru

Při silně kolísající hladině oceli v krystalizátoru nemůže licí prášek, pokrývající hladinu lázně, dále vytvářet nebo dodávat stejnoměrný mazací film mezi stěnou krystalizátoru a

povrchem slitku. Pokud není zajištěna dostatečná tvorba mazacího filmu, může dojít jak k odtrhnutí mazacího filmu licího prášku. Následkem odtrhnutí nastává průval.

Hladina oceli má ležet 80 - 100 mm pod horní hranou desek krystalizátoru. Pokud je hladina příliš nízká, může být licí prášek zaplavován. Pokud naopak je hladina oceli v krystalizátoru příliš vysoká, může se spálit těsnění mezi měděnými stěnami a vodní skříní a nastává nebezpečný stav. U horní hrany krystalizátoru dochází k přehřívání snímače hladiny a tím ke zkreslení měřených hodnot, nebo k vzniku poruchy snímače.

Při praktickém výběru 98 ks BP z FLS, které měly povrchové vady a nebyly skarfované bylo provedeno hodnocení odchylky hladiny v krystalizátoru, které je zobrazeno na **obr. 4.2**. Z tohoto hodnocení vyplývá, že mnohé z vad byly způsobeny nedodržením hodnot vychýlení hladiny oceli v krystalizátoru. Odchylka vychýlení hladiny oceli v krystalizátoru vykazuje vysoký rozptyl a tyto BP je nutno doporučit pro skarfování. U nastavení odchylky hladiny oceli v krystalizátoru v predikčním systému je určená maximální odchylka kolísání hladiny oceli v krystalizátoru 10mm, zobrazená na **obr. 4.2** modrou barvou a doporučená odchylka zelenou barvou.



Obr. 4.2 Lineární závislost kolísání hladiny oceli v krystalizátoru

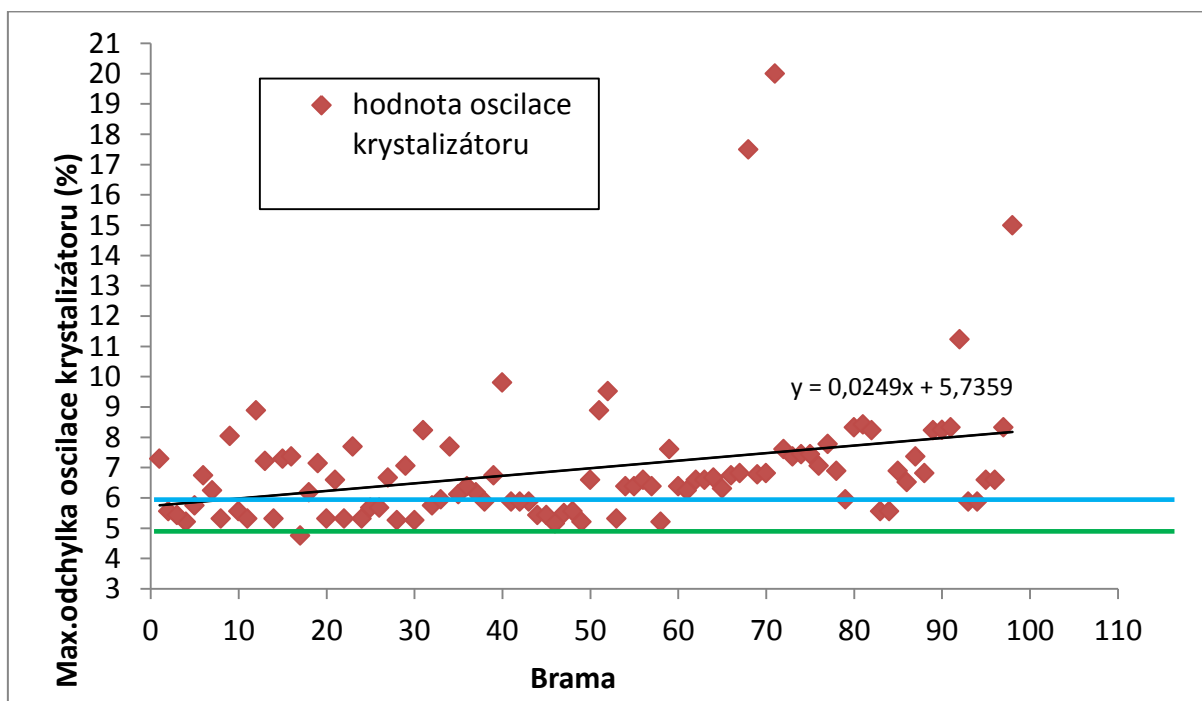
Po rozboru BP, které vykazovali vady je evidentně vidět na **obr. 4.2**, že pokud dojde k nadměrnému kolísání hladiny, tedy k překročení maximální povolené hodnoty 8 mm, dochází na BP k vadám. Následně z této analýzy je doporučeno u všech BP, u kterých bylo zjištěno kolísání hladiny nad nastavenou hodnotu v predikčním systému 8 mm provést skarfování horního povrchu BP.

4.4 Maximální odchylka oscilace krystalizátoru

Aby se předlitek při pomalé rychlosti odlévání nenalepoval na steny krystalizátoru, musí se pohybovat vertikálním směrem. Tímto vertikálním pohybem dochází k vytváření oscilačních vrásek na BP. Zkoumáním charakteristiky oscilace krystalizátoru vznikly následovné závěry [16]:

1. Pohyb směrem dolů je o něco rychlejší, než vytahování předlitku z krystalizátoru
2. Rychlost jakou se krystalizátor vrací směrem nahoru je tři-krát vyšší než pohyb krystalizátoru směrem dolů.
3. Podle rychlosti odlévání se nastavuje frekvence oscilace, která je u BP tloušťky 250 mm kolem 100 cyklů za minutu.
4. Zdvih oscilace krystalizátoru se nastavuje co nejmenší a zvyšuje se naopak frekvence oscilace. Zdvih oscilace krystalizátoru je u mechanických krystalizátorů pevně daný [17].

Při praktickém výběru 98 ks BP z FLS, které měly povrchové vady a nebyly skarfované bylo provedeno hodnocení odchylky oscilace krystalizátoru, které je zobrazeno na **obr. 4.3**. Z tohoto hodnocení vyplývá, že mnohé povrchové vady BP byly způsobeny nedodržením hodnot vychýlení odchylky oscilace krystalizátoru. U nastavení odchylky oscilace krystalizátoru v predikčním systému je určena maximální odchylka oscilace krystalizátoru 6%, zobrazená na **obr. 4.3** modrou barvou a doporučená odchylka zelenou barvou. Odchylka oscilace krystalizátoru vykazuje rozptyl a u těchto BP je doporučeno provést změnu nastavení maximální odchylky oscilace krystalizátoru z 6% na 5%.



Obr. 4.5 Zobrazení odchylky oscilace krystalizátoru

4.5 Odchylka sekundární zóny chlazení

Sekundární zóna chlazení je umístěna pod krystalizátorem a je tvořena chladicími vodovzdušnými tryskami a vodícím systémem válců. Chladicí trysky v sekundární zóně jsou v chladicích okruzích, kde se nastavují jednotlivé parametry tlaku vody, průtočného množství vody v okruhu a tlaku vzduchu. V ocelárně VÍTKOVICE STEEL a.s. se sekundární zóna dělí na 13 chladicích okruhů. Pro každý okruh je v predikčním systému FLS nastavená mezní hodnota - odchylka. Jedná se o odchylku od teoretické hodnoty dané typem trysky a tlakem vzduchu, která je vyjádřena v procentech. Mezní hodnota chladicích okruhů se pohybuje na jednotlivých segmentech v rozmezí 34 - 75 %. Jestliže okamžitý poměr průtoku a tlaku vody dle určené charakteristiky trysky je překročen, může docházet k povrchovým vadám na BP. Tyto povrchové vady mohou být charakteru hvězdicové trhliny, příčné, podélné trhliny a středové trhliny.

Pro minimalizování vad je proto zcela nezbytné dodržovat nastavené parametry v predikci vad. Pokud dojde k překročení nastavených hodnot je nutno provést nápravná opatření.

Při optimalizaci predikce vad v sekundární zóně chlazení a určení maximální mezní hodnoty překročení poměru průtoku a tlaku vody v jednotlivých okruzích, se musely udělat

analýzy každého chladicího okruhu samostatně. Taková to analýza dat, potřebovala detailnější zpracování jednotlivých chladicích okruhů. Na okruzích docházelo nejčastěji k překračování maximální mezní hodnoty u všech sledovaných parametrů. Při analýze bylo vybráno z databáze FLS 100ks BP, které obsahovali povrchové vady a nebyly skarfovány. Po této analýze se zjišťovali dosahované hodnoty ostřiků na chladicích okruzích. Chladicí okruhy č. 1 - č. 13 a jejich dosahované hodnoty u jednotlivých BP jsou uvedeny v **přílohách č. 1 - č. 7**. V těchto grafech jsou zobrazeny mezní hodnoty BP obsahující povrchové vady z velké části přesahující maximální nastavenou hodnotu.

Z analýzy jednoznačně nevyplyvá, že vzniklé povrchové vady a překročené hodnoty ostřiků na BP spolu souvisejí. To nevylučuje možnost, že povrchové vady jsou tvořeny nedodržením několika nastavených parametrů. Nutno zvážit přísnější kontrolu jednotlivých chladicích okruhů a omezit vznik možných vad tím, že se upraví maximální možná mezní hodnota. Z informací získaných z analýzy dat byly doporučeny úpravy mezních hodnot chladicích okruhů zobrazené v **tab. 4.1**.

Tab. 4.1 Upravené parametry

Parametr	Limitní mez možné vady
Chladicí okruh č. 1	< 35 %
Chladicí okruh č. 2	< 30 %
Chladicí okruh č. 3	< 54 %
Chladicí okruh č. 4	< 30 %
Chladicí okruh č. 5	< 30 %
Chladicí okruh č. 6	< 40 %
Chladicí okruh č. 7	< 35 %
Chladicí okruh č. 8	< 30 %
Chladicí okruh č. 9	< 55 %
Chladicí okruh č. 10	< 50 %
Chladicí okruh č. 11	< 50 %
Chladicí okruh č. 12	< 45 %
Chladicí okruh č. 13	< 65 %

5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A ZÁVĚR

5.1 Dosažené výsledky analýzy vadných bramových předlitků

V obsahu této bakalářské práce jsou doporučené možnosti optimalizace skarfování BP s vlivem na konečnou povrchovou kvalitu bramových předlitků. Pro tento cíl byla vybraná konkrétní jakostní skupina S355, na které byly různé typy povrchových vad.

Pro zjištění parametrů, které způsobují povrchové vady a zhoršují tak výrazně kvalitu konečných bramových předlitků, byly z interní databáze ocelárny vybrané informace jednotlivých BP s povrchovými vadami. Ze získaných hodnot bylo provedeno hodnocení pro každý parametr limitní hodnoty a nastavena mez vzniku možné vady na BP. Při analýze se počítalo se standardním stavem ZPO a jeho jednotlivých segmentů. Na základě výsledků z analýzy vad a nastavených hodnot predikčního modelu byly doporučené parametry pro skarfování BP dle **tab. 4.2**.

Tab. 4.2 Doporučené parametry pro jakost S355

Parametr	Limitní mez možné vady	
	Standardní hodnoty	Doporučené hodnoty
Odchylka licí rychlosti	< 10 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 5 %
Zastavení lití	< 30 s	< 30 s
Max. kolísání hladiny krystalizátoru	± 10 mm	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu ± 8mm
Max. odchylka oscilace krystalizátoru	< 6 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 5 %
Chladicí okruh č. 1	< 40 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 35 %
Chladicí okruh č. 2	< 50 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 30 %
Chladicí okruh č. 3	< 65 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 54 %
Chladicí okruh č. 4	< 40 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 30 %
Chladicí okruh č. 5	< 34 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 30 %
Chladicí okruh č. 6	< 55 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 40 %
Chladicí okruh č. 7	< 45 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 35%
Chladicí okruh č. 8	< 35 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 30%
Chladicí okruh č. 9	< 60 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 55%
Chladicí okruh č. 10	< 60 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 50 %
Chladicí okruh č. 11	< 55 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 50%
Chladicí okruh č. 12	< 50 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 45%
Chladicí okruh č. 13	< 75 %	Skarfovat BP pokud parametr překročí hodnotu 65%

Úprava parametrů a jejich doporučených hodnot podle **tab. 4.2** se řídila následujícím:

Odchylka licí rychlosti

Odchylka licí rychlosti byla snížena ze standardní hodnoty 10 % pro jakostní skupinu S355, a doporučené skarfování v případě překročení limitní hodnoty. Pro jakosti S355 byla doporučena hodnota limitní meze 5 %, pokud bude tato hodnota v predikčním modelu jakosti překročena, bude BP skarfována. Důvod snížení hodnoty vychází z **obr. 4.1**, kde z 98 sledovaných BP jen 3 BP vykazovaly nižší hodnotu než 5 %. **Zastavení lití**

Při sledování taveb v databázi ocelárně VÍTKOVICE STEEL a.s., se nevyskytovaly tak dlouhé prostoje, a proto se standardní hodnota parametru zastavení lití neměnila a zůstala na standardní hodnotě, která byla ověřena z dostupné literatury. Při zastavení lití dochází k tvorbě povrchových vad na BP po 30 sekundách prostoje a to z důvodu vysoké intenzity chlazení, které je v ZPO.

Maximální kolísání hladiny oceli v krystalizátoru

Standardní hodnota kolísání hladiny oceli v krystalizátoru v predikčním modelu jakostní skupiny S355 byla stanovena $\pm 10\text{mm}$. Tahle hodnota limitní meze byla upravena a doporučila se nová limitní mez, kdy se budou skarfovat všechny BP, které překročí hodnotu kolísání hladiny oceli v krystalizátoru o $\pm 8\text{ mm}$. Důvod snížení hodnoty o $\pm 2\text{ mm}$ vychází z **obr. 4.2**. Při rozboru 98 BP, které měly povrchové vady, bylo až 90 % nad hranici $\pm 8\text{ mm}$. Opatřením snížením maximální dovolené kolísavosti hladiny oceli v krystalizátoru, se předpokládá výskytu povrchových vad.

Maximální odchylka oscilace krystalizátoru

U nastavení odchylky oscilace krystalizátoru v predikčním systému pro jakostní skupinu S355, byla určena maximální odchylka oscilace krystalizátoru 6%. Sledováním vybraných 98 BP, byla doporučena hodnota odchylky oscilace krystalizátoru a to 5%. Při překročení doporučené hodnoty se BP bude skarfovat. Nastavení a snížení hranice z 6% na 5%, vychází z **obr. 4.3**, kde jenom při jednom BP byla hodnota odchylky oscilace krystalizátoru nižší než 5%. Tímto opatřením se odstraní většina povrchových vad způsobená překročením maximální hodnoty odchylky oscilace krystalizátoru.

Odchylka sekundární zóny chlazení

Pro každý okruh je v predikčním systému FLS nastavená rozdílná mezní hodnota - odchylka. Mezní hodnota chladících okruhů se pohybuje v rozmezí 34 - 75 %, zobrazena v **přílohách č. 1 - č. 7** na **obr. 1 - 13** modrou barvou. Byla provedena pro každý chladící

okruh analýza dat výskytu povrchových vad pro překročení těchto mezní hodnot. Při analýze bylo vybráno z databáze FLS 100 ks BP, které obsahovaly povrchové vady a nebyly skarfovány. Po této analýze se zjišťovali dosahované hodnoty ostřiků na chladicích okruzích. Chladicí okruhy č. 1 - č. 13 a jejich dosahované hodnoty u jednotlivých BP jsou uvedeny v **přílohách č. 1 - č. 7**. Byly doporučeny nové hodnoty maximální odchylky pro chladicí okruhy zobrazené zelenou barvou v **přílohách č. 1 - č. 7**. Při nastavování nových hodnot nebylo možné provést takové změny, aby se zamezilo úplnému výskytu povrchových vad. Doporučené hodnoty pro jednotlivé chladicí okruhy jsou zobrazeny v **tab. 4.2**. Limitní meze byly doporučeny na základě zmetkovitosti BP z důvodu výskytu povrchových vad. Pro jednotlivé okruhy chlazení byla stanovena hranice mezní hodnoty 15 % od nejnižší hodnoty souborů analyzovaných BP. Toto opatření vychází s předpokladu nastavení nových limitních mezí na takovou úroveň, aby se odstranilo 85% povrchových vad z BP, které vznikly překročením maximální odchylky chladicích okruhů. Při nastavování nových limitních mezí docházelo u některých chladicích okruhů, k radikálnímu snížení mezní hodnot, což bude v praxi znamenat častější skarfování BP, ale v konečném důsledku sníží zmetkovitost BP.

Křivka lineární závislosti nebyla směrodatná a nepřinesla významnou informaci, proto byly zakresleny křivky stávajícího a současného doporučení predikčního modelu jakosti.

Z predikčního modelu nebyly vybrány všechny parametry, ale jen ty provozně ověřené jako nejvýznamnější, které mohou způsobovat povrchové vady na BP.

5.2 Závěr

Cílem práce bylo charakterizovat a zhodnotit proces možnosti optimalizace skarfování BP s vlivem na konečnou kvalitu výrobku. Byly popsány charakteristiky možnosti využití skarfovacího stroje a příčiny jeho použití v provozu ocelárny.

Znalosti k této problematice byly čerpány zejména z odborné literatury a článků z vědeckých publikací získaných pomocí e-zdrojů a odborných databází. Informace o dané problematice byly použité také z článků z odborných časopisů fondu Ústřední knihovny, VŠB-TU Ostrava. Mnohé z použitých znalostí byly získány přímo na provozu od pracovníků v ocelárně.

Při vypracovávání práce byl zvolen postup seznámení se s teoretickými základy výroby oceli na zařízení plynulého odlévání. Následně byl udělán rozbor literárních poznatků z oblasti strojního skarfování předlitků a také rozbor současného stavu technologie skarfování Bramových předlitků v ocelárně VÍTKOVICE STEEL a.s.

ZBOROVANČÍK, T. Možnosti optimalizace skarfování Bramových předlitků s vlivem na konečnou kvalitu výrobku, VŠB-TU Ostrava, FMMI, 2015

Na základě provedené analýzy vybraných dat BP z informací ze systému řízení výroby v ocelárně, byl vypracován návrh možností optimalizace technologie skarfování bramových předlitků v ocelárně VÍTKOVICE STEEL a.s., a to konkrétně pro jakostní skupinu S355. Při vypracovávání práce byla provedena optimalizace jednotlivých vybraných parametrů a byly doporučeny nové limitní hodnoty parametru predikce jakosti.

Upravené parametry predikčního modelu musí být zaváděny do technologie provozu ZPO postupně, pro určitý objem výroby BP. Důvod zvolení takového postupu je v tom, aby bylo možné posoudit, do jaké míry se projeví úprava daných parametrů na snížení výskytu povrchových vad na konečných výrobcích.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MASARIK, M., ČAMEK L, DUDA J, Causes of occurrence of internal and surface defects at continuous casting of steel slabs and possibilities of their removal, International Metallurgical & Materials Conference METAL 2014, Brno, Czech Republic, May 2014, p. 7
2. ŠMÍD, J. Katalog vad plynule litých brámových předlitků. Dobrá: VÚHŽ, 2002.107 s.
3. ŠMRHA Lubomír, Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 305 s.
4. ŠTETINA J, KAVICKA F, Optimization of Technology and Control of a Slab Caster. Hutnické listy, 2010, vol. LXII, no. 1, p. 43–53, ISSN 0018-8069.
5. IRVING, W. R.: Continuous Casting of Steel. The University Press, Cambridge, 1993, p. 207, ISBN 0–901716–53–7.
6. [Online] 2010. [Citace: 9. 12 2014.] <http://www.l-tec.com>.
7. HEYATO KANAYAMA, JIRO MATSUO, Automatic defekt-detector with scarfer for slabs, 1997, Nippon steel technical report, p. 7, dostupné z <http://www.nssmc.com/en/tech/report/nsc/pdf/7402.pdf>.
8. Příručka jakosti ocelárny Vítkovice Steel, [pdf] 13. 3 2013, DTP – scarfování bram.
9. WILCZEK, Operational manual. [doc] Ostrava: Vítkovice steel a.s., 2009. Návod pro obsluhu a údržbu Scarfovacího stroje.
10. MASARIK M, ČAMEK L, DUDA J., Nové výrobní technologie vybraných jakostí se zaměřením na snížení výrobních nákladů. 2014, s. 4.
11. PINDOR L., CIBULKA J., HEFNER Š., Hodnocení závislosti povrchové teploty kontislitku na přítomnost povrchových defektu u válcovaných tyčí, Hutnické listy, 2011, vol. LXIV, no. 4, p. 6-10, ISSN 0018-8069.
12. LIE, H. M., TEH, K. C., Quality predictions modeling for CC slabs. 10th Conference Proceedings, 1992, dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/>.
13. KAVIČKA, F., ŠTETINA, J., FRANĚK, Z., Řešení problematiky technologie odlévání na ZPO, Karviná, 2007
14. MASARIK M., FRANĚK Z., et al. Vliv vybraných parametrů plynulého odlévání na kvalitu bram, Oceláři. 2013, ISBN 978-80-87294-37-6.

15. ERKER, M., BRANDL, W., SCHÖLLNHAMMER, H., WOLF, G., Experience with the five-strand bloom caster as part of the new integrated compact LD steelmaking plant at Voestalpine Stahl Donawitz GmbH. Proceedings of the 4th European Continuous Casting Conference, Vol. 1, Birmingham 2002, dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/>.
16. DOLEJŠÍ, Z., a kol. : Plynulé odlévané ocele 2. díl., SNTL, Praha, 1988.
17. BÖHM Z., CAGAŠ J., DOLEJŠÍ Z., KUČERA J., PĚTROŠ J., ŠMRHA L., Plynulé odlévání oceli, Praha: SNTL, 1992, 448 s.

Přehled zkratk a jejich význam

ZPO - zařízení pro plynulé odlévání oceli

BP - bramový předlitek

DTP - detailní technologický předpis

FLS - systém řízení výroby v ocelárně